Journal of Agroecology
Vol. 13, No.2, Summer 2021, p. 271-290

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۲۹۰-۲۷۱

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی پتانسیل تولید، کارایی استفاده از منابع و سودمندی اکولوژیکی - اقتصادی در کشت مخلوط لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) در شرایط همزیستی با میکوریزا

جواد حمزه‌ئی[1]* و سیده فاطمه حسینی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

حمزه‌ئی ج.، و حسینی، س.ف.، ۱۴۰۰. ارزیابی پتانسیل تولید، کارایی استفاده از منابع و سودمندی اکولوژیکی - اقتصادی در کشت مخلوط لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) در شرایط همزیستی با میکوریزا. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۲): ۲۹۰-۲۷۱.

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی اثر همزیستی با میکوریزا (*Glomus mosseae*) بر سودمندی اکولوژیک کشت مخلوط افزایشی لوبیا چیتی با کدو پوست کاغذی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان در سال زراعی ۱۳۹۵ انجام گرفت. الگوی کشت در پنج سطح شامل کشت خالص کدوی پوست کاغذی (با تراکم ۲/۲۲ بوته در واحد سطح)، کشت خالص لوبیا چیتی (با تراکم ۴۰ بوته در واحد سطح) و کشت مخلوط سری افزایشی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد لوبیا با کدو در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد کود زیستی میکوریزا (*Glomus mosseae*)، تیمارهای آزمایشی بودند. نتایج نشان داد که اثر الگوهای کشت در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا بر صفات تعداد میوه در بوته، وزن بذر، عملکرد بذر، عملکرد روغن، عملکرد معادل کدو، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن کدو و همچنین تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه لوبیا معنی‌دار بود. درصد روغن در کدو و درصد همزیستی در هر دو گیاه نیز در صورت کاربرد میکوریزا معنی‌دار بودند. بیشترین عملکرد معادل کدو (۱۸۵/۲۶ گرم بر مترمربع)، کارایی مصرف آب (۲/۷۲ کیلوگرم بر میلی‌متر) و کارایی مصرف نیتروژن (۱۰/۲۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو و در صورت کاربرد میکوریزا به‌دست آمد. نسبت برابری زمین جزئی در کدو بیشتر از لوبیا بود که بیانگر تأثیرپذیری بیشتر و مثبت کدو از کشت مخلوط با لوبیا است. بیشترین میزان نسبت برابری زمین (۱/۶۱)، مجموع ارزش نسبی (۱/۸۳)، کارایی استفاده از زمین (۱۵۴/۲۷) و شاخص بازگشت مالی (۴۶۳/۱۴) از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو و در حالت کاربرد میکوریزا حاصل شد که بیانگر توانایی میکوریزا در تعدیل رقابت لوبیا با کدو می‌باشد. در کل، با توجه به بهبود اجزای عملکرد، عملکرد معادل، کیفیت محصول تولیدی، کارایی مصرف آب و نیتروژن و نیز با عنایت به شاخص‌های سودمندی اکولوژیک می‌توان اظهار داشت که کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو در شرایط کاربرد میکوریزا مناسب‌ترین تیمار است.

واژه‌های کلیدی: الگوی‌کشت، عملکرد معادل، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن، کود زیستی

مقدمه

در سال ۲۰۳۰ میلادی میزان تقاضا برای مواد غذایی در جهان

[1] و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:j.hamzei@basu.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v13i2.79212

احتمالاً نزدیک به دو برابر سطح فعلی خواهد رسید و این در حالی است که میزان اراضی جدید جهت توسعه سطح زیر کشت بسیار محدود است (Marzban et al., 2014). افزایش مصرف کودهای شیمیایی در نیم قرن گذشته به‌منظور تأمین نیازهای رو به افزایش جمعیت، عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی را افزایش داده است، ولی این امر مشکلات زیست‌محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی، کاهش نفوذپذیری و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک، محدود شدن رشد ریشه، تخریب خاک و کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها و در نهایت، کاهش رشد را سبب شده است (Hashemzadeh et al., 2014). این فرایند، تولید مواد غذایی در دهه آینده را با مشکل مواجه خواهد ساخت (Alikhan et al., 2009) و منجر به ایجاد فشار بر منابع طبیعی شده و پایداری سیستم‌های کشاورزی را تهدید می‌کند (Hashemzadeh et al., 2014). لذا نیاز به طراحی و اجرای مجدد سیستم‌های برخوردار از پایداری و عملکرد به ضرورت احساس می‌شود (Hosseini et al., 2016).

در کشاورزی، چشم‌اندازهای متفاوتی برای تقلید از طبیعت وجود دارد که یک نمونه از آن، کشاورزی پایدار است و بدین صورت توصیف می‌شود که با مدیریت بهینه منابع یعنی افزون بر اثر رضایت‌بخش برای انسان، مدیریت و کنترل آفات، حفاظت از سلامت محیط و استفاده بهینه از ظرفیت منابع آب و خاک نیز فراهم شود. بنابراین، علاوه‌بر افزایش تولیدات کشاورزی از طریق افزایش سطح زیر کشت و عملکرد در واحد سطح، باید از عامل زمان و مکان در تولید محصولات زراعی یعنی اجرای سیستم چند کشتی نیز استفاده گردد (Banik et al., 2006). کشت مخلوط به‌عنوان عملیات کشاورزی پایدار تعریف می‌شود که در آن دو یا چند گونه به‌صورت همزمان، در طول یک فصل رشد و در یک قطعه زمین رشد می‌کنند (Amani Machiani et al., 2018). در این راستا انتخاب گیاهانی که کمترین رقابت را در یک آشیان اکولوژیک با هم داشته باشند، قدم عمده‌ای محسوب می‌شود. بهره‌برداری بیشتر از عوامل محیطی نیازمند تیپ ایده آل گیاهان زراعی است که قادر باشند در کمترین زمان، تمام آشیان‌های اکولوژیک را به‌طور کامل اشغال کنند و از منابع و امکانات محیطی استفاده بیشتری ببرند. برتری کشت مخلوط بر کشت خالص این است که در اغلب موارد تولید بیشتری از آن در مقایسه با کشت خالص، از همان مقدار زمین به‌دست می آید (Hamzei, 2012).

از طرفی، استفاده از کودهای زیستی را روشی برای احیای فلور طبیعی خاک و مسیری برای رسیدن به کشاورزی پایدار دانسته‌اند (Baqual & Das, 2006) که متأسفانه اغلب سیستم‌های کشاورزی متداول مبتنی بر مصرف فراوان کودهای شیمیایی، از مزایای همزیستی ریزجانداران مفید با گیاه نظیر همزیستی با میکوریزا محروم هستند (Kapoor et al., 2004). در گیاهان میکوریزایی سیستم ریشه‌ای توسعه یافته و سبب افزایش جذب مواد غذایی و ظرفیت هدایت آب می‌شود. علاوه‌براین، سنتز هورمون‌های رشد را بهبود بخشیده و مقاومت گیاه را در برابر پاتوژن‌های مضر افزایش می‌دهد (Singh et al., 2012). میکوریزا از طریق افزایش غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ، باعث افزایش سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ می‌شود (Brito et al., 2008). بنابراین، به نظر می‌رسد کاربرد توأم کشت مخلوط و کود زیستی می‌تواند گامی مؤثر به‌سوی پایداری تولید در زمین‌های زراعی باشد. به‌طوری‌که، بیشترین نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی را همراه با کاربرد قارچ میکوریزا گزارش کرده‌اند (Marzban et al., 2014). همچنین، عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) در کشت مخلوط همراه با کاربرد ریزجانداران حل کننده فسفات افزایش یافت و نسبت برابری زمین برابر با ۲/۱۵ شد (Naghizade et al., 2012). به‌طور کلی، با افزایش تنوع زیستی، فضاهای خالی موجود در اکوسیستم‌های زراعی به‌وسیله گونه‌های مفید گیاهی و ریزموجودات خاکزی از جمله قارچ میکوریزا اشغال می‌شود. از طرفی، انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب در کشت مخلوط به‌همراه موجودات خاکزی همزیست به‌دلیل ایجاد حالت مکملی باعث استفاده بهتر از منابع نیز می‌شود (Marzban et al., 2014). در میان گیاهان زراعی، حبوبات گیاهانی کم‌توقع و مناسب کشت در نظام‌های مخلوط به‌شمار رفته و از نظر اکولوژیکی و زیست‌محیطی بسیار ارزشمند هستند. لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات است که در ایران جایگاه ویژه‌ای دارد و سطح زیر کشت آن رو به افزایش است و به‌دلیل دارا بودن پروتئین، فیبر و مواد معدنی فراوان، غذایی کامل محسوب می‌شود (Parsa & Bagheri, 2008). گیاهان متعلق به تیره کدوئیان نیز به‌علت تجمع درصد بالایی از پروتئین و به‌ویژه روغن در دانه از ارزش غذایی مناسبی برخوردار هستند. روغن حاصل از بذر کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.)، حاوی مواد

بسیار ارزشمندی است که اسیدهای چرب غیر اشباع، ویتامین A، ویتامین B، ویتامین E، مواد معدنی، فیتواسترول‌ها، کارتنوئیدها و پروتوکلروفیل از جمله آن‌هاست. این گیاه در درمان بیماری‌های مختلفی نظیر هیپرپلازی پروستات، کاهش کلسترول و اسیدهای چرب اشباع خون، کرم‌های روده‌ای، التهاب معده، روده، تصلب شرائین، جلوگیری از انقباضات نامنظم قلب و کاهش خطر تشکیل سنگ مثانه کاربرد دارد (Fruhwirth & Hermetter, 2008). از این رو، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر کود زیستی میکوریزا بر رقابت، عملکرد، شاخص‌های کشت مخلوط و خدمات اکوسیستمی در کشت مخلوط افزایشی لوبیا چیتی با کدوی پوست کاغذی بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان انجام گرفت. در این آزمایش از دو گیاه کدوی پوست کاغذی و لوبیا چیتی در سری‌های کشت مخلوط افزایشی[1] استفاده شد. الگوهای کشت خالص کدو، کشت خالص لوبیا و کشت مخلوط افزایشی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد لوبیا با کدو در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد کود زیستی میکوریزا تیمارهای آزمایشی بودند. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری محل آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نمونه‌برداری شد که نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

براساس توصیه کودی، مقدار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن (Hamzeai & Babaei, 2015) مصرف نیتروژن در سه مرحله یک سوم پس از کاشت همراه با اولین آبیاری، یک سوم در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی و یک سوم در زمان ۵۰ درصد میوه‌دهی صورت گرفت (Habibi et al., 2011)، ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار مصرف شد. کشت هر دو گونه در تاریخ ۹۵/۳/۷ انجام شد. رقم مورد مطالعه *Cucurbita* pepo L. var. styriaca بود که از مؤسسه پاکان بذر اصفهان تهیه شد. در کشت خالص کدو، هر کرت آزمایشی دارای چهار ردیف کاشت به‌طول پنج متر و با فاصله بین ردیف ۱۵۰ سانتی‌متر و روی ریف ۳۰ سانتی‌متر بود. در کشت خالص لوبیا نیز هر کرت آزمایشی دارای ۱۲ ردیف کاشت به‌طول پنج متر و با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف پنج سانتی‌متر بود. تراکم کدو و لوبیا در واحد سطح به‌ترتیب ۲/۲۲ (Hamzeai & Babaei, 2015) و ۴۰ بوته (Omidi & Sepehri, 2015) بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر بود. در تیمارهای کشت مخلوط، تعداد ۸، ۱۶ و ۲۴ بوته از لوبیا در واحد سطح (به‌ترتیب ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد تراکم خالص لوبیا) در بین ردیف‌های کدو کشت شدند (شکل ۱).

عملیات داشت در طی دوره رشد شامل آبیاری محصول به‌صورت بارانی و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول فصل رشد گیاهان صورت گرفت. آبیاری هر هفت روز یک‌بار صورت گرفت و در طول فصل رشد در مجموع، ۶۸۰ میلی‌متر آب در هکتار وارد مزرعه شد. در پایان دوره رشد (اواخر مهرماه)، برداشت محصول از هر کرت پس از حذف دو خط کناری و نیم متر از انتهای واحد آزمایشی به‌عنوان اثر حاشیه، انجام شد و درصد روغن بذر کدو با استفاده از دستگاه سوکسله، عملکرد روغن (حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد بذر)، عملکرد معادل کدو (PEY)[2]، کارایی مصرف آب (WUE)[3] و نیتروژن (NUE)[4] بر اساس عملکرد معادل کدو و همچنین صفات تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در میوه، وزن بذر و عملکرد بذر در کدو و تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه در لوبیا، اندازه‌گیری شد. درصد همزیستی ریشه نیز به‌روش فلیپس و هایمن تعیین گردید (Philips & Hayman, 1970)، به این منظور ریشه‌های نمونه‌برداری شده با آب به‌طور کامل شسته شد. به‌منظور رنگ‌بری، ریشه‌ها در محلول ۱۰ درصد KOH به‌مدت ۲۴ ساعت و در دمای محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. ریشه‌ها به‌مدت چهار دقیقه در محلول اسیدکلریدریک (HCl) ۰/۱ مولار قرار داده شدند. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از محلول ترپیان بلو در دمای آزمایشگاه استفاده شد. قیمت لوبیا و کدو در سال مورد آزمایش به‌ترتیب ۱۲۵۰۰۰ و ۲۵۰۰۰۰ ریال بود. جهت مقایسه سودمندی کشت مخلوط با خالص، برخی از مهم‌ترین شاخص‌ها بر اساس فرمول‌های موجود محاسبه شدند (جدول ۲).

داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با نرم‌افزار SAS9.1 تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

1- Additive series intercropping

2- Pepo equivalent yield

3- Water use efficiency

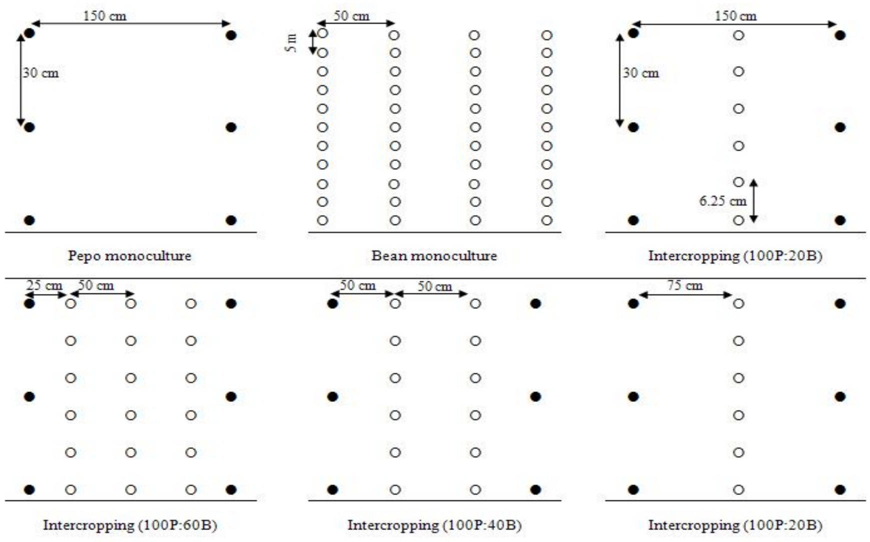
4- Nitrogen use efficiency

مقایسه شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental field soil

بافت **Texture**	اسیدیته **pH**	هدایت الکتریکی **EC (dS.m^{-1})**	ماده آلی **Organic matter (%)**	فسفر قابل دسترس **Available P (mg.kg^{-1})**	پتاسیم قابل دسترس **Available K (mg.kg^{-1})**
لوم رسی Clay loam	7.5	0.76	0.9	11	210



شکل ۱- دیاگرام نحوه اجرای کشت خالص و مخلوط لوبیا و کدو

Fig. 1- Diagram for the implementation of the sole cropping and intercropping of bean and pepo

نتایج و بحث

جهت بررسی الگوهای مختلف کشت در سطوح همزیستی با میکوریزا و تعیین نقش میکوریزا در تعدیل رقابت بین لوبیا و کدو، از روش تجزیه برش‌دهی الگوی کشت در سطح میکوریزا انجام و الگوهای کاشت در حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا جداگانه مقایسه شدند.

درصد همزیستی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد از نظر درصد کلونیزاسیون ریشه کدو، بین الگوهای کشت، در حالت کاربرد میکوریزا در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. ولی، در حالت عدم کاربرد میکوریزا بین الگوهای کشت، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در حالت کاربرد میکوریزا بیشترین درصد همزیستی (۶۲/۵۷ درصد) برای کدو از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد که با کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین درصد همزیستی (۴۱/۵۱ درصد) نیز از کشت خالص کدو به‌دست آمد که با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت. کشت خالص کدو درصد همزیستی را به‌میزان ۳۳/۶۶ درصد نسبت به کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو، کاهش داد (جدول ۴). در واقع، به نظر می‌رسد در اولویت اول افزایش تنوع زیستی سبب افزایش تولید کل گیاهان از جمله افزایش زیست توده ریشه می‌شود که در نتیجه، افزایش محتوای کربن و نیتروژن خاک، افزایش فعالیت میکروبی خاک نیز تحقق می‌یابد (Grigulis et al., 2013). چنین یافته‌هایی نقش مکمل بودن در ارتقای عملکرد گیاهان و استفاده بهتر از منابع را برجسته می‌کند که بیانگر افزایش تولید زیست‌توده و افزایش جریان مواد و انرژی در خاک است. طبق تحقیقات انجام شده میکوریزا می‌تواند جریان مواد مغذی، عملکرد گیاه و پایداری اکوسیستم را افزایش دهد (Gianinazzi et al., 2010).

جدول ۲- شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط
Table 2- Competition indices in intercropping

شاخص Index	معادله Equation	منبع Reference
نسبت برابری زمین کدو Pepo land equivalent ratio of pepo	$LERp = Ypb/Yp$	لیتورجیدیس و همکاران (۲۰۱۱) Lithourgidis et al., 2011
نسبت برابری زمین لوبیا Bean land equivalent ratio	$LERb = Ybp/Yb$	
نسبت برابری زمین کل Total land equivalent ratio	$TLER = LERp + LERb$	
نسبت رقابتی کدو Pepo competitive ratio	$CRp = (LERp/LERb) \times (Zbp/Zpb)$	لیتورجیدیس و همکاران (۲۰۱۱) Lithourgidis et al., 2011
نسبت رقابتی لوبیا Bean competitive ratio	$CRb = (LERb/LERp) \times (Zpb/Zbp)$	
نسبت معادل زمان و سطح Area time equivalent ratio	$ATER = Ypb/(Yp \times Tp) + (Ybp/Yb \times Tb)/T$	وایلی (۱۹۷۹) Willey, 1979
کارایی استفاده از زمین Land use efficiency	$LUE\ (\%) = [(LER + ATER)/2] \times 100$	سینگ و همکاران (۲۰۱۳) Singh et al., 2013
ضریب ازدحام نسبی کدو Pepo relative crowding coefficient	$Kp = Ypb \times Zbp/(Yp - Ypb)Zpb$	بنیک و همکاران (۲۰۰۶) Banik et al., 2006
ضریب ازدحام نسبی لوبیا Bean relative crowding coefficient	$Kb = Ybp \times Zpb/(Yb - Ybp)Zbp$	
ضریب ازدحام نسبی کل Relative crowding coefficient	$K = Kp \times Kb$	
شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	$SPI = (Yp/Yb)Ybp + Ypb$	آجینیو و همکاران (۲۰۰۶) Agegnehu et al., 2006
شاخص بازده نسبی تجمعی Cumulative relative efficiency index	$REIc = Kp/Kb$ $Kp = Ypbt2/YPbt1;\ Kb = Ybpt2/Ybpt1$	کانولی (۱۹۸۷) Connolly, 1987
شاخص غالبیت Aggressivity	$AGp = 2 \times (LERp - LERb) = -AGb$	اسنایدون (۱۹۹۱) Snaydon, 1991
عملکرد معادل کدو Pepo equivalent yield	$PEY = Ypb + Ybp \times (Pb/Pp)$	بنیک و همکاران (۲۰۰۶) Banik et al., 2006
مجموع ارزش نسبی Relative value Total	$RVT = (Ypb \times Pp + Ybp \times Pb)/YpPp$	لیتورجیدیس و همکاران (۲۰۱۱) Lithourgidis et al., 2011
کارایی مصرف آب Water use efficiency	$WUE = Grain\ yield/Water\ consumption\ (kg/mm)$	آل- مفله و همکاران (۲۰۱۲) Al-Mefleh et al., 2012
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	$NUE = yield/(N\ consumption)$	مول و همکاران (۱۹۸۲) Moll et al., 1982

Ypb and Ybp: Yield of pepo and bean in intercropping, respectively. — Ypb و Ybp: به‌ترتیب عملکرد کدو و لوبیا در مخلوط

Yp and Yb: Yield of pepo and bean in sole cropping, respectively. — Yp و Yb: به‌ترتیب عملکرد کدو و لوبیا در خالص

Tp, Tb and T: Growth duration of pepo, bean and intercropping, respectively. — Tp، Tb و T: به‌ترتیب دوره رشد کدو، لوبیا و مخلوط

Zpb and Zbp: Proportion of pepo and bean in intercropping, respectively. — Zpb و Zbp: به‌ترتیب درصد کدو و لوبیا در مخلوط

Pp and Pb: Price of pepo and bean, respectively. — Pp و Pb: به‌ترتیب قیمت کدو و لوبیا

فراوانی و تنوع ریزجانداران با تنوع جوامع گیاهی ارتباط دارد، بـه نظر می‌رسد لگوم‌ها، از طریق همزیستی سه جانبه میکـوریزا-لگـوم-ریزوبیوم، درصد کلونیزاسیون را افزایش می‌دهند. در لوبیا نیز از نظر درصد همزیستی بین الگوهای کشت در حالـت کـاربرد میکـوریزا در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار مشاهده شد، ولی در حالـت عدم کاربرد میکوریزا، بین الگوهای کشت تفاوتی وجود نداشت (جدول

۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، در حالت کاربرد میکوریزا بیشترین درصد همزیستی (۷۰/۱۷ درصد) از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد، ولی این تیمار با کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو تفاوت نداشت. کمترین مقدار این صفت (۴۴/۹۲ درصد) نیز از کشت خالص لوبیا حاصل شد. به‌طوری‌که این تیمار در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو، از کاهش ۳۵/۹۸ درصدی برخوردار بود (جدول ۸). در صورت تلقیح گیاه با میکوریزا نسبت به عدم تلقیح، درصد کلونیزاسیون ریشه ماریتیغال به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (Hamzei & Salimi, 2014).

اجزای عملکرد و عملکرد بذر کدوی پوست کاغذی

از نظر تعداد میوه در بوته بین الگوهای کشت در صورت کاربرد میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و در صورت عدم کاربرد میکوریزا در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی‌دار وجود داشت، ولی تعداد دانه در میوه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۳). در گیاهان میکوریزایی، بیشترین تعداد میوه در بوته (۱/۵۰ میوه در بوته) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد، ولی این تیمار با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو و کشت خالص کدو تفاوت نداشت. کمترین میزان این صفت (۱/۰۴ میوه در بوته) از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد، به‌طوری‌که این تیمار نسبت به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو، تعداد میوه در بوته را ۳۰/۶۷ درصد کاهش داد (جدول ۴). در گیاهان غیر میکوریزایی بیشترین مقدار این صفت (۱/۳۱ میوه در بوته) از کشت خالص کدو به‌دست آمد که با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو در یک کلاس آماری قرار داشت. کمترین مقدار این صفت (۰/۷۳ میوه در بوته) از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد که با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو تفاوتی نداشت. کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو نسبت به کشت خالص کدو، سبب کاهش ۴۴ درصدی تعداد میوه در بوته کدو شد (جدول ۴). در کل، در صورت کاربرد میکوریزا نسبت به عدم کاربرد میکوریزا تعداد میوه در بوته در تیمارهای مشابه افزایش یافت (جدول ۴). لوبیا به‌علت توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری با ایجاد اثر مکملی سبب تقسیم منابع شده و رقابت بین گونه‌ای برای دریافت نیتروژن را کاهش می‌دهد. تعادل بین اثر مکملی و رقابت به‌طور مداوم تغییر می‌کند و به شرایط محیطی بستگی دارد، به‌طوری‌که با افزایش تراکم لوبیا در کشت مخلوط از ۴۰ به۶۰ درصد، به‌علت افزایش رقابت بین گونه‌ای و کاهش میزان دسترسی کدو به منابع محیطی، تعداد میوه در بوته کدو کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های بستامی و مجیدیان در مورد گشنیز (*Coriandurum sativum* L.) هماهنگ است (Bastami & Majidian, 2016).

وزن بذر کدو در صورت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد تحت تأثیر الگو کشت قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در صورت کاربرد میکوریزا بیشترین وزن بذر (۱۶۰/۹۰ میلی‌گرم) از کشت خالص کدو حاصل شد، ولی این تیمار با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین مقدار این صفت (۱۲۷/۵۵ میلی‌گرم) بدون تفاوت معنی‌دار با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو، از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد، به‌طوری‌که این تیمار نسبت به کشت خالص کدو، وزن بذر را به‌میزان ۲۰/۷۳ درصد کاهش داد. در حالت عدم کاربرد میکوریزا نیز بیشترین مقدار این صفت (۱۴۱/۷۵ میلی‌گرم) از کشت خالص کدو به‌دست آمد که با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو در یک کلاس آماری قرار داشت. به نظر می‌رسد افزایش ۲۰ درصد لوبیا به کدو می‌تواند روابط متقابل سودمند که در آن گیاهان از خدمات اکوسیستمی بهره‌مند می‌شوند را افزایش دهد و با ایجاد غلبه بر رقابت، رشد و کیفیت گیاهان را نیز بهبود بخشد. کمترین مقدار این صفت (۱۱۹/۶۵ میلی‌گرم) از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد که با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۴). احتمال می‌رود با افزایش تراکم لوبیا از ۲۰ به ۶۰ درصد، به‌علت افزایش رقابت بین گونه‌ای و کاهش دسترسی کدو به نور، آب و مواد غذایی و در نتیجه، کاهش فتوسنتز گیاه، وزن بذر کدو کاهش یافته است. این یافته‌ها با گزارش تحقیقی که بیان می‌دارد وزن بذر ذرت با افزایش تراکم به‌علت افزایش رقابت کاهش می‌یابد، هم‌خوانی دارد (Rahmani et al., 2017).

در کل، می‌توان اظهار داشت که در حالت کاربرد میکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن، وزن بذر در تیمارهای مشابه افزایش یافت. انشعابات میسیلیومی قارچ‌های میکوریزا می‌توانند به درون خاک و روزنه‌هایی که برای ریشه و تارهای کشنده گیاه در دسترس نیستند راه یابند و به این ترتیب از حجم بیشتری از پروفیل خاک استفاده

کنند. بنابراین، میکوریزا با فراهم کردن سطح اضافی برای جذب (Aboutalebian & Malmir, 2017)، باعث افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر (Mohammadi et al., 2014) و نیتروژن (Heidari & Karami, 2014) شده و تولید آسیمیلات‌ها در گیاه را افزایش می‌دهد و از این طریق سبب افزایش وزن بذر می‌شود.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا، اثر الگوی کشت بر عملکرد بذر کدو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در صورت کاربرد میکوریزا بیشترین عملکرد بذر (۱۰۱/۴۲ گرم بر مترمربع)، از کشت خالص کدو حاصل شد، ولی این تیمار با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ و ۴۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین مقدار این صفت (۵۸/۶۸ گرم بر مترمربع) نیز از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد، به‌طوری‌که این تیمار نسبت به کشت خالص کدو، عملکرد بذر را ۴۲/۱۴ درصد کاهش داد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر الگوی کشت مخلوط با لوبیا چیتی و همزیستی با میکوریزا بر اجزای عملکرد و عملکرد کدو پوست کاغذی

Table 3- Analysis of variance for the effect of intercropping pattern with bean and inoculation with mycorrhiza on yield and yield components of pepo

تلقیح با میکوریزا Inoculation with mycorrhiza (+M)		میانگین مربعات Mean of squares				
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد میوه در بوته Fruit numbers per plant	تعداد دانه در میوه Seed numbers per fruit	وزن بذر Seed weight	عملکرد بذر Seed yield	درصد همزیستی Symbiosis percentage
تکرار Replication	2	0.11*	347^{ns}	800.89*	519.00*	76.47^{ns}
الگوی کشت Planting patter	3	0.14*	209^{ns}	705.15*	1214.99**	283.92**
خطا Error	6	0.02	1337	114.65	97.13	23.91
ضریب تغییرات CV (%)	-	10.37	17.06	7.20	11.16	9.32
عدم کاربرد میکوریزا (-M) Without myacorrhiza (-M)	d.f	تعداد میوه در بوته Fruit numbers per plant	تعداد دانه در میوه Seed numbers per fruit	وزن بذر Seed weight	عملکرد بذر Seed yield	درصد همزیستی Symbiosis percentage
تکرار Replication	2	0.13*	509^{ns}	446.27**	764.19*	0.18^{ns}
الگوی کشت Planting pattern	3	0.23**	29^{ns}	362.84**	935.01**	0.52^{ns}
خطا Error	6	0.03	585	35.41	74.72	0.64
ضریب تغییرات CV (%)	-	14.23	10.85	4.49	12.78	18.72

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت مخلوط با لوبیا چیتی و همزیستی با میکوریزا بر اجزای عملکرد و عملکرد کدو پوست کاغذی
Table 4- Mean comparision for the effect of intercropping pattern with bean and inoculation with mycorrhiza on yield and yield components of pepo

تلقیح با میکوریزا Inoculation with mycorrhiza	الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	تعداد میوه در بوته Fruit numbers per plant	تعداد دانه در میوه Seed numbers per fruit	وزن بذر Seed weight (mg)	عملکرد بذر Seed yield (g m^{-2})	درصد همزیستی Symbiosis percentage
+M	100:00 (P:B)	1.44	208.52	160.90	101.42	41.51
	100:20 (P:B)	1.50	206.83	159.05	100.32	47.35
	100:40 (P:B)	1.48	216.89	147.12	92.89	62.57
	100:60 (P:B)	1.04	224.96	127.55	58.68	58.42
	LSD (5%)	0.28	ns	21.39	19.67	9.77
-M	100:00 (P:B)	1.31	220.27	141.75	82.58	3.72
	100:20 (P:B)	1.27	227.42	141.55	79.34	4.73
	100:40 (P:B)	0.94	221.57	127.00	64.80	4.31
	100:60 (P:B)	0.73	222.66	119.65	43.83	4.28
	LSD (5%)	0.30	ns	11.89	17.27	ns

B: Bean :لوبیا چیتی   P: Pepo :کدو پوست کاغذی

ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.
ns: is non-significant at the 0.05 of probability level.

در حالت عدم کاربرد میکوریزا، بیشترین عملکرد بذر کدو (۸۲/۵۸ گرم بر مترمربع) از کشت خالص کدو به‌دست آمد که با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین مقدار این صفت (۴۳/۸۳ گرم بر مترمربع) نیز از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد میکوریزا از طریق کمک به تأمین عوامل مؤثر در رشد برای گیاه، باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه میزبان می‌شود. مطابق نتایج به‌دست آمده، با افزایش شدت تنش ناشی از افزایش تراکم لوبیا نقش میکوریزا بر بهبود تأمین آب و عناصر غذایی و در نتیجه، افزایش توان کدو در برابر تنش محیطی، بیشتر نمایان می‌شود. در همین رابطه گزارش شده که به‌علت اثرات مثبت میکوریزا بر صفات فیزیولوژیک گیاه از جمله افزایش محتوای رنگدانه، سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Nazari-Nasi et al., 2018).

درصد و عملکرد روغن کدوی پوست کاغذی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که در شرایط تلقیح با میکوریزا، از نظر درصد روغن بین الگوی کشت در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد، ولی در حالت عدم کاربرد میکوریزا درصد روغن تحت تأثیر الگو کشت قرار نگرفت (جدول ۵). در گیاهان میکوریزایی بیشترین درصد روغن (۴۷/۴۹ درصد) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد، ولی این تیمار با کشت خالص کدو و کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین درصد روغن (۳۹/۴۵ درصد) از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد که با تیمار کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو تفاوت معنی‌دار نداشت. کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو سبب کاهش ۱۶/۹۳ درصدی روغن کدو در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو شد (جدول ۶). عملکرد روغن کدو در گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۵). در صورت کاربرد میکوریزا بیشترین عملکرد روغن (۴۷/۶۲ گرم بر مترمربع) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد. این تیمار با کشت خالص کدو و کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین عملکرد روغن (۲۳/۱۸ گرم بر مترمربع) نیز از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد، به‌طوری‌که این تیمار عملکرد روغن را ۵یک درصد نسبت به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو، کاهش داد. در حالت عدم کاربرد میکوریزا بیشترین مقدار این صفت (۳۶/۱۵ گرم بر مترمربع) بدون تفاوت معنی‌دار با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو، از کشت خالص کدو به‌دست آمد. کمترین مقدار این صفت (۱۶/۶۴ گرم

بر مترمربع) نیز از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد (جدول ۶). با توجه به همبستگی بالایی که بین عملکرد دانه و روغن وجود دارد، می‌توان بیان داشت که لازمه تولید عملکرد روغن مطلوب، عملکرد دانه مطلوب است. بنابراین، کاربرد میکوریزا می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه و روغن در کدو شود. نتایج تحقیقی نشان داد که بیشترین عملکرد روغن گیاه گاوزبان در صورت استفاده از کودهای زیستی به‌دست آمد (Sepehri & Karami, 2013). از طرفی، مطالعات انجام شده در مورد کشت مخلوط با لگوم‌ها نشان می‌دهد که فرآیند اصلی تأثیرگذار در تسهیل (بهبود شرایط محیطی و افزایش دسترسی به خدمات اکوسیستمی) جذب نیتروژن و فسفر، تغییر در pH ناشی از تثبیت نیتروژن توسط ریشه لگوم‌ها است (Bargaz et al., 2015; Latati et al., 2014).

عملکرد معادل کدو، کارایی مصرف آب و نیتروژن

الگوهای مختلف کشت از نظر عملکرد معادل کدو در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۵). به‌طوری‌که در حالت کاربرد میکوریزا، بیشترین مقدار عملکرد معادل کدو (۱۸۵/۲۶ گرم بر مترمربع) از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد. کمترین مقدار این صفت (۱۰۱/۴۲ گرم بر مترمربع) نیز از کشت خالص کدو حاصل شد، ولی این تیمار با کشت مخلوط ۲۰ و ۶۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار داشت.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کشت مخلوط با لوبیا چیتی بر کارایی مصرف منابع، عملکرد معادل و کیفیت بذر کدو پوست کاغذی

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of intercropping patterns with bean on resource use efficiency, equivalent yield, sysbiosis percentage and seed quality of pepo

تلقیح با میکوریزا **Inoculation with mycorrhiza (+M)**		میانگین مربعات **Mean of squares**				
منابع تغییر S.O.V	**d.f**	**کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency**	**کارایی مصرف آب Water use efficiency**	**عملکرد معادل کدو Pepo equivalent yield**	**عملکرد روغن Oil yield**	**درصد روغن Oil percentage**
تکرار Replication	2	5.29^{ns}	0.37^{ns}	1722^{ns}	361.27**	17.20^{ns}
الگوی کشت Planting pattern	3	11.84*	0.83*	38.36*	395.31**	38.83*
خطا Error	6	1.57	0.11	506	32.70	8.08
ضریب تغییرات CV (%)	-	16.19	16.17	16.18	14.36	6.39
-M	**d.f**	**کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency**	**کارایی مصرف آب Water use efficiency**	**عملکرد معادل کدو Pepo equivalent yield**	**عملکرد روغن Oil yield**	**درصد روغن Oil percentage**
تکرار Replication	2	4.41*	0.31*	1430*	114.51*	9.18^{ns}
الگوی کشت Planting pattern	3	3.10*	0.23*	1002*	236.43**	19.83^{ns}
خطا Error	6	0.64	0.04	208	12.36	12.15
ضریب تغییرات CV (%)	-	14.20	14.38	14.21	12.30	8.31

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: are non-significant and significant at the 0.05 and 0.01 of probability level, respectively.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت مخلوط با لوبیا چیتی بر کارایی مصرف منابع، عملکرد معادل، درصد همزیستی و کیفیت بذر کدو پوست کاغذی

Table 6- Mean comparision for the effects of intercropping patterns with bean on resource use efficiency, equivalent yield, sysbiosis percentage and seed quality of pepo

تلقیح با میکوریزا Inoculation with mycorrhiza	الگوی کشت Planting pattern	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg.kg^{-1})	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg.mm^{-1})	عملکرد معادل کدو Pepo equivalent yield (g.m^{-2})	عملکرد روغن Oil yield (g.m^{-2})	درصد روغن Oil percentage
+M	100:00 (P:B)	5.63	1.49	101.42	47.26	46.59
	100:20 (P:B)	8.12	2.15	146.10	47.62	47.49
	100:40 (P:B)	10.29	2.72	185.26	41.27	44.50
	100:60 (P:B)	6.88	1.82	123.71	23.18	39.45
	LSD (%5)	2.50	0.66	44.96	11.43	5.67
-M	100:00 (P:B)	4.58	1.21	83.58	36.15	43.80
	100:20 (P:B)	6.41	1.70	115.34	34.42	43.49
	100:40 (P:B)	6.61	1.75	119.06	27.02	42.31
	100:60 (P:B)	4.97	1.32	89.46	16.64	38.22
	LSD (%5)	1.60	0.42	28.83	7.02	ns

ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

ns: is non-significant at the 0.05 of probability level.

کشت خالص کدو در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو، عملکرد معادل کدو را ۴۵/۲۶ درصد کاهش داد. در حالت عدم کاربرد میکوریزا نیز بیشترین مقدار این صفت (۱۱۹/۰۶ گرم بر مترمربع) از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد که با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو در یک گروه آماری قرار گرفت و کمترین مقدار این صفت (۸۳/۵۸ گرم بر مترمربع) از کشت خالص کدو حاصل شد. کشت خالص کدو در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو ۲۹/۸۰ درصد عملکرد معادل کدو را کاهش داد (جدول ۶). نتایج تحقیقی نشان داد، در کشت مخلوط افزایشی جو با باقلا با افزایش درصد تراکم باقلا اگرچه عملکرد جو مقداری کاهش یافت، امّا عملکرد کل افزایش یافت (Agegnehu et al., 2006).

در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا، کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۵). در گیاهان میکوریزایی، بیشترین کارایی مصرف آب (۲/۷۲ کیلوگرم بر میلی‌متر) از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد. قابل ذکر است که بین این تیمار و کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو از نظر کارایی مصرف آب تفاوتی وجود نداشت. کمترین مقدار کارایی مصرف آب (۱/۴۹ کیلوگرم بر میلی‌متر) نیز از کشت خالص کدو به‌دست آمد. کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو در مقایسه با کشت خالص کدو، کارایی مصرف آب را ۴۵/۲۲ درصد افزایش داد. در گیاهان غیر میکوریزایی نیز بیشترین مقدار کارایی مصرف آب از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد و با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو تفاوتی نداشت. کمترین مقدار کارایی مصرف آب بدون تفاوت معنی‌دار با کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو، از کشت خالص کدو به‌دست آمد (جدول ۶). یکی از پیچیده‌ترین مکانیسم‌هایی که کارایی محصول را بهبود می‌بخشد مربوط به استفاده بهتر از منابع از طریق کشت مخلوط است (Bedoussac & Justes, 2011; Bedoussac et al., 2015). مشخص شده است که گونه‌های موجود در کشت مخلوط با استفاده از مکانیسمی به‌نام اثر مکملی، رقابت بین گونه‌ای را محدود می‌کنند. در واقع اثر مکملی به تقسیم منابع و کاهش رقابت بین گونه‌ای اشاره دارد (Justes et al., 2014). کشت مخلوط از طریق افزایش حجم خاکی که از آن بهره‌برداری می‌شود و درنتیجه، با استفاده از رطوبت پروفیل بیشتری از خاک می‌تواند سودمند باشد (Zegada-Lizarazu et al., 2006). اثر الگوهای مختلف کشت بر کارایی مصرف نیتروژن نیز در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در حالت کاربرد میکوریزا، بیشترین (۱۰/۲۹) و کمترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن (۵/۶۳) به‌ترتیب از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد

لوبیا با کدو و کشت خالص کدو حاصل شد. کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو در مقایسه با کشت خالص کدو کارایی مصرف نیتروژن را ۴۵/۲۹ درصد افزایش داد (جدول ۶). گزارش شده است که استفاده از لگوم‌ها در کشت مخلوط سبب تسهیل در جذب عناصر و افزایش کارایی آن‌ها همچون نیتروژن و فسفر می‌شود (Szumigalski & Van Acter, 2006).

اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا چیتی

تعداد غلاف در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثر الگوی کشت قرار گرفت، ولی اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نشد (جدول ۷). در گیاهان میکوریزایی بیشترین تعداد غلاف در بوته (۱۲/۱۲ غلاف در بوته) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد و کمترین مقدار این صفت (۷/۴۸ غلاف در بوته) از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد، به‌طوری‌که این تیمار نسبت به کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو، تعداد غلاف در بوته را ۳۸/۲۸ درصد کاهش داد (جدول ۸). در حالت عدم کاربرد میکوریزا نیز بیشترین (۱۰/۸۷) و کم‌ترین (۶/۱۲) تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ و ۶۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد (جدول ۸). نتایج تحقیقی نشان داد که تلقیح نخود با باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح با باکتری شد (Rokhzadi et al., 2008). از نظر وزن ۱۰۰ دانه بین الگوهای کشت در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول۷). به‌طوری‌که در حالت کاربرد میکوریزا، بیشترین وزن ۱۰۰ دانه (۳۲/۸۱ گرم) از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد، ولی این تیمار با کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو و کشت خالص لوبیا از نظر آماری تفاوت نداشت. کمترین مقدار این صفت (۲۴/۹۳ گرم) نیز از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد. این تیمار در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو، وزن ۱۰۰ دانه را به‌میزان ۲۴/۰۲ درصد کاهش داد (جدول ۸). همچنین، در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا، عملکرد دانه لوبیا در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر الگوهای کشت قرار گرفت (جدول ۷).

در گیاهان میکوریزایی، بیشترین عملکرد دانه (۲۶۵/۱۴ گرم بر مترمربع) از کشت خالص لوبیا به‌دست آمد و کمترین مقدار این صفت (۹۱/۵۵ گرم بر مترمربع) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد، به‌طوری‌که در این تیمار در مقایسه با کشت خالص لوبیا، به‌علت تراکم کم لوبیا، عملکرد دانه لوبیا به‌میزان ۶۵/۴۷ درصد کاهش یافت. در گیاهان غیر میکوریزایی نیز بیشترین عملکرد دانه (۲۱۹/۵۲ گرم بر مترمربع) از کشت خالص لوبیا به‌دست آمد و کمترین مقدار این صفت (۷۲/۰۰ گرم بر مترمربع) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد (جدول ۸). میزان تثبیت نیتروژن توسط لگوم‌ها با مقدار نیتروژن معدنی موجود در خاک رابطه معکوس دارد. قارچ‌های میکوریزا نیز با افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود شرایط رطوبتی گیاه، افزایش فتوسنتز و افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی، تأثیر مثبتی بر همزیستی گیاه با *ریزوبیوم* دارند (Cardoso & Kuyper, 2006).

شاخص‌های سودمندی: نسبت برابری زمین (LER) و مجموع ارزش نسبی (RVT)

نسبت برابری زمین نشان‌دهنده کارایی کشت مخلوط در استفاده از منابع است و می‌تواند به‌صورت مستقیم میزان افزایش یا کاهش محصول در کشت مخلوط دو گونه را تعیین کند (Lithourgidis et al., 2011). در این آزمایش، حداکثر نسبت برابری زمین جزئی کدو (۰/۹۹ و ۰/۹۶ به‌ترتیب در گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد و بیشترین نسبت برابری زمین جزئی لوبیا (۰/۶۹ و ۰/۴۹ به‌ترتیب در گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی) نیز از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد (جدول ۸). به‌طور کلی، نسبت برابری زمین جزئی در کدو بیشتر از لوبیا بود که می‌توان چنین استنباط نمود که کدوی پوست کاغذی گیاه غالب بوده و از کشت مخلوط با لوبیا چیتی اثر مثبت پذیرفته است. به عبارت دیگر، لوبیا چیتی محیط را به‌نفع کدو پوست کاغذی تغییر داده است که نشان از اثر مثبت لوبیا چیتی بر کدوی پوست کاغذی است. نسبت برابری زمین کل در اکثر تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی می‌باشد (جدول ۹).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر الگوی کشت بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و درصد همزیستی لوبیا چیتی

Table 7- Analysis of variance for the effect of planting pattern on yield, yield components and sysbiosis percentage of bean

تلقیح با میکوریزا Inoculation with mycorrhiza (+M)	میانگین مربعات Mean of squares					
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد غلاف در بوته Pod numbers per plant	تعداد دانه در غلاف Seed numbers per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of hundred seed	عملکرد دانه Seed yield	درصد همزیستی Symbiosis percentage
تکرار Replication	2	13.77ns	0.42ns	47.34*	5567*	107.32*
الگوی کشت Planting pattern	3	15.48*	0.02ns	47.05*	15175**	413.82**
خطا Error	6	2.95	0.16	6.37	1049	18.96
ضریب تغییرات CV (%)	-	17.82	14.17	8.18	18.21	7.33
عدم کاربرد میکوریزا (-M)	d.f	تعداد غلاف در بوته Pod numbers per plant	تعداد دانه در غلاف Seed numbers per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of hundred seed	عملکرد دانه Seed yield	درصد همزیستی Symbiosis percentage
تکرار Replication	2	13.58*	0.08ns	68.45*	6647**	2.88ns
الگوی کشت Planting pattern	3	15.02**	0.03ns	42.24*	13495**	1.69ns
خطا Error	6	1.38	0.19	8.18	328	0.94
ضریب تغییرات CV (%)	-	14.25	16.08	11.03	15.05	16.68

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: are non-significant and significant at the 0.05 and 0.01 of probability level, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و درصد همزیستی لوبیا چیتی

Table 8- Mean comparision for the effect of planting pattern on yield, yield components and sysbiosis percentage of bean

میکوریزا Mycorrhiza	الگوی کشت PP	تعداد غلاف در بوته Pod numbers per plant	تعداد دانه در غلاف Seed numbers per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of hundred seed (g)	عملکرد دانه Seed yield (g m^{-2})	درصد همزیستی Symbiosis percentage
+M	00:100 (P:B)	7.96	2.71	32.00	265.14	44.92
	100:20 (P:B)	12.12	2.85	33.48	91.55	54.87
	100:40 (P:B)	11.01	2.95	32.81	184.74	70.17
	100:60 (P:B)	7.48	2.82	24.93	170.05	67.64
	LSD (%5)	3.43	ns	5.04	64.72	8.69
-M	00:100 (P:B)	6.68	2.74	28.24	219.52	4.98
	100:20 (P:B)	10.87	2.67	28.79	72.00	5.92
	100:40 (P:B)	9.31	2.85	26.09	98.51	6.79
	100:60 (P:B)	6.12	2.62	20.57	91.26	5.62
	LSD (%5)	2.35	ns	5.71	26.18	ns

ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

ns: is non-significant at the 0.05 of probability level.

تنها در گیاهان غیر میکوریزایی و در کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو LER کمتر از واحد (۰/۹۱) بود که علت آن رقابت زیاد در اثر تراکم بالای لوبیا است. در واقع، در تیمار مشابه و در گیاهان میکوریزایی، هر چند LER در پایین‌ترین سطح است (۱/۰۷)، ولی این نتایج بیانگر این است که میکوریزا توانسته تا حدودی اثر رقابتی دو گونه را در حالت کاربرد ۶۰ درصد تراکم لوبیا، تعدیل کند و لذا در این تیمار نیز LER بیشتر از یک شده است. در کشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012)،

جدول ۹- نتایج شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط کدو و لوبیا تحت تأثیر تلقیح با میکوریزا

Table 9- Result of advantage indices of pepo and bean intercropping affected as mycorrhiza inoculation

الگوی کشت مخلوط Intercropping patterns		نسبت برابری زمین LER			نسبت رقابت CR			بازده نسبی تجمعی REI			مجموع ارزش نسبی RVT
		کدو LERp	لوبیا LERb	کل LERt	کدو CRp	لوبیا CRb	لوبیا/کدو CRp/CRb	کدو REIp	لوبیا REIb	لوبیا/کدو REIp/REIb	
+M	100:20 (P:B)	0.99	0.34	1.33	22.00	9.91	2.22	2.13	1.45	1.49	1.44
	100:40 (P:B)	0.92	0.69	1.61	21.36	14.40	1.48	2.15	1.52	1.42	1.83
	100:60 (P:B)	0.58	0.49	1.07	18.09	16.39	1.10	1.72	1.65	1.05	1.23
-M	100:20 (P:B)	0.96	0.32	1.28	19.56	8.89	2.20	1.93	1.35	1.44	1.41
	100:40 (P:B)	0.79	0.49	1.27	18.46	12.70	1.45	1.87	1.50	1.26	1.44
	100:60 (P:B)	0.51	0.40	0.91	15.57	15.82	0.98	1.46	1.60	0.93	1.06

		ضریب ازدحام نسبی K			شاخص غالبیت AG		نسبت معادل زمان- سطح زیر کشت ATER	کارایی استفاده از زمین LUE	شاخص بهره‌وری سیستم SPI	شاخص بازگشت مالی MR		
		کدو Kp	لوبیا Kb	کل K	کدو AGp	لوبیا AGb				کدو MRp	لوبیا MRb	کل MR
+M	Monoculture	-	-	-	-	-	-	-	-	2535.5	3314.2	-
	100:20 (P:B)	4.06	2.65	6.71	0.93	-0.93	1.26	129.67	135.28	2508.0	1144.4	3652.4
	100:40 (P:B)	0.11	3.56	3.67	0.64	-0.64	1.47	154.27	163.46	2322.2	2309.2	4631.4
	100:60 (P:B)	0.85	0.55	1.4	0.28	-0.28	0.97	102.30	107.67	1467.0	1625.6	3092.6
-M	Monoculture	-	-	-	-	-	-	-	-	2064.5	2744.0	-
	100:20 (P:B)	0.34	2.16	2.50	0.90	-0.90	1.22	124.86	105.27	1983.4	900.0	2883.4
	100:40 (P:B)	1.54	1.45	2.99	0.59	-0.50	1.17	122.30	105.18	1620.0	1356.3	2976.3
	100:60 (P:B)	0.78	0.30	1.09	0.27	-0.27	0.83	87.18	77.27	1095.8	1140.8	2236.5

سویا و همیشه بهار (Allahdadi et al., 2013) و زیره سبز و عدس (Rezaei-Chiyaneh et al., 2014) نیز مقدار LER بالاتر از یک بوده است. از طرفی، در صورتی که مجموع ارزش نسبی در کشت مخلوط کوچک‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط است. نتایج آزمایش نشان داد مجموع ارزش نسبی در تمامی تیمارها بیشتر از یک شد. در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا، بیشترین مقدار RVT از کشت مخلوط ۴۰ درصد لوبیا با کدو و کمترین مقدار نیز از کشت مخلوط ۶۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد (جدول ۸).

شاخص نسبت رقابت (CR) و بازده نسبی تجمعی (REIc)

نسبت رقابت ابزار مهمی به‌منظور شناخت درجه رقابت یک گونه گیاهی با دیگری است (Wahla et al., 2009). طبق نتایج این آزمایش، بیشترین نسبت رقابت کدو در هر دو حالت کاربرد (۲۲/۰۰) و عدم کاربرد میکوریزا (۱۹/۵۶) از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد. در حالی‌که، نسبت رقابت لوبیا در این تیمار در حداقل بود (۹/۹۱ و ۸/۸۹ به‌ترتیب در حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا) (جدول ۹). با توجه به نتایج به‌دست آمده که حاکی از نسبت رقابتی پایین‌تر لوبیا نسبت به کدو می‌باشد، می‌توان لوبیا را گیاهی مناسب برای کشت مخلوط با کدو معرفی کرد. از طرفی، اندازه‌گیری-های متوالی از رشد گیاه در مقایسه با اندازه‌گیری واحد عملکرد نهایی می‌تواند به درک بهتر تعاملات رقابتی در کشت مخلوط و کشت خالص کمک کند و شاخصی مانند REIc می‌تواند در این امر مفید باشد (Andersen et al., 2004). حداکثر شاخص بازده نسبی کدو در حالت کاربرد (۲/۱۵) و عدم کاربرد (۱/۹۳) میکوریزا به‌ترتیب از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو و کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد. بیشترین مقدار شاخص بازده تجمعی برای لوبیا نیز در حالت کاربرد (۱/۶۵) و عدم کاربرد میکوریزا (۱/۶۰) از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد (جدول ۸). نسبت شاخص بازده تجمعی کدو به لوبیا در تمامی تیمارها به‌جز کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو در حالت عدم کاربرد میکوریزا (۰/۹۳) کوچک‌تر از یک بود که این امر بیانگر رشد بیشتر کدو نسبت به لوبیا در طول دوره رشد می‌باشد.

نسبت معادل زمان-سطح زیر کشت (ATER) و کارایی استفاده از زمین (LUE)

در صورتی‌که زمان تصرف زمین به‌وسیله گونه‌های شرکت‌کننده در کشت مخلوط متفاوت باشد، نسبت معادل زمان- سطح زیر کشت در مقایسه با نسبت برابری زمین شرایط ارزیابی بهتری را فراهم می‌نماید (Awal et al., 2007). این شاخص در حقیقت بیانگر کارایی تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی می‌باشد. اگر ATER>1 باشد نشان‌دهنده بازده بالا در استفاده از زمان و زمین است. در آزمایش حاضر، مقدار ATER در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا و در تمام الگوهای کشت به‌جز کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد لوبیا با کدو، کوچک‌تر از یک به‌دست آمد (جدول ۹). روند LUE مشابه ATER و LER بود، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این شاخص در حالت کاربرد میکوریزا (۱۵۴/۲۷) از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو و در حالت عدم کاربرد میکوریزا از کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با کدو به‌دست آمد (جدول ۹). در نتایج تحقیقی درباره کشت مخلوط سیر و شمعدانی مشاهده کردند که بالاترین مقدار LUE از تیمار دو ردیف سیر+ یک ردیف شمعدانی به‌دست آمد که دلیل آن را بالاتر بودن میزان LER و ATER در این تیمار نسبت به الگوهای مختلف کشت مخلوط بیان نمودند (Singh et al., 2013).

شاخص غالبیت (AG) و ضریب ازدحام نسبی (K)

اگر AG برابر صفر شود هر دو گیاه قدرت رقابتی برابر دارند و زمانی که AG یک گیاه کوچک‌تر از صفر شود، نشان‌دهنده غالب بودن آن گیاه بر گیاه دیگر و برعکس می‌باشد (Dhima et al., 2007). نتایج آزمایش نشان داد مقدار AG برای کدو در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا کوچک‌تر از صفر شد، ولی مقدار AG برای لوبیا کوچک‌تر از صفر به‌دست آمد (جدول ۹). بنابراین، کدو گیاه غالب بر لوبیا می‌باشد و لوبیا گیاه مغلوب یا تحت سلطه کدو است و همین امر سبب بیشتر شدن عملکرد کدو نسبت به لوبیا می‌باشد. در کشت مخلوط گندم دوروم و نخود نیز گندم گیاه غالب (AG>0) و نخود گیاه مغلوب (AG<0) گزارش شده است (Bedoussa & Justes, 2011). شاخص ضریب ازدحام نسبی نیز نشان‌دهنده غالبیت یک گونه نسبت به سایر گونه‌ها در کشت مخلوط است. در صورتی

که در کشت مخلوط، مقدار K یک گونه کوچک‌تر از یک باشد، بیانگر برتری عملکرد آن گونه نسبت به گونه دیگـر اسـت. مطـابق نتـایج به‌دست آمده در حالت کاربرد میکوریزا، مقدار ضـریب ازدحـام نسـبی جزئی کدو در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیـا بـا کـدو کوچک‌تر از یک، (۴/۰۶) بود و در حالت عـدم کـاربرد میکـوریزا نیـز مقدار K در تیمار کشت مخلوط افزایشـی ۴۰ درصـد لوبیـا بـا کـدو کوچک‌تر از یک (۱/۵۴) به‌دست آمد. مقدار ضریب ازدحام نسبی لوبیا نیز در هر دو حالت کاربرد و عدم میکوریزا در کشت مخلوط افزایشی ۲۰ و ۴۰ درصد لوبیا با کدو کوچک‌تر از یـک بـه‌دسـت آمـد. مقـدار ضریب ازدحام نسبی کل در تمامی تیمارها کوچک‌تر از یک شـد کـه بیانگر سودمندی کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به کشـت خـالص آن‌ها است. هر اندازه مقدار K کل کوچک‌تر باشد به این معنی اسـت که هر دو گونه در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتـری بـر یکـدیگر دارند و در نتیجه آن کارایی کشـت مخلـوط افـزایش خواهـد یافـت (Lithourgidis et al., 2011).

شاخص بازگشت مالی (MR) و بهره‌وری سیستم (SPI)

مطابق نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، بیشترین بازگشت مالی کدو و لوبیا در هر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکـوریزا از کشـت خالص آن‌ها به‌دست آمد، ولی بیشترین بازگشت مالی کل در هـر دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا از کشـت مخلـوط افزایشـی ۴۰ درصد لوبیا با کدو حاصل شد (جدول ۹). بنابراین، به نظر می‌رسد در این آزمایش بهترین الگوی کشت برای دستیابی به حداکثر سودمندی مالی، کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا با کدو می‌باشد. در کشت مخلوط نعناع و سویا نیز بیشترین و کمترین سودمندی مالی به‌ترتیب از کشت مخلوط و تک کشتی سویا ثبت شد (Amani Machiani et al., 2018). همچنین، بالا بودن شـاخص بهـره‌وری سیسـتم (SPI) بیانگر افزایش کارایی سیستم کشت مخلوط است. با توجه به مقـادیر به‌دست آمده (جدول ۹)، بیشترین میزان SPI، در گیاهان میکوریزایی از کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیـا بـا کـدو و در حالـت عـدم کاربرد میکوریزا از کشت مخلوط افزایشـی ۲۰ درصـد لوبیـا بـا کـدو به‌دست آمد. دلیل ایـن امـر بـه LER و LUE بـالاتر ایـن تیمارهـا برمی‌گردد. زمانی‌که LER و K بالاست، میزان SPI نیز بالاتر بوده و ثبات عملکـرد سیسـتم بیشـتر خواهـد بـود (Lithourgidis et al., 2011).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد کاربرد میکوریزا بـه‌طـور معنـی‌داری صفات مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داد و در کل در صورت کاربرد میکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن مقـدار ایـن صـفات در تیمارهـای مشابه افزایش یافت. به نظر می‌رسد میکوریزا با بهبود شرایط خاک و محیط ریشه و همچنین تسهیل جذب آب و مـواد غـذایی منجـر بـه جذب بهتر و بیشتر عناصر و به‌خصوص فسـفر خـاک شـده، کـارایی فتوسنتز گیاه را بهبود بخشیده و در نهایت، با افزایش توان گیـاه اثـر منفی تنش ناشی از رقابت را تعدیل می‌کند. در نتایج حاصل از بررسی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشـت خـالص نیـز تمـامی ایـن شاخص‌ها در صورت کاربرد میکوریزا برتر از عدم کاربرد آن بوده است که این نتیجه بیانگر این است که میکوریزا توانسته تـا حـدودی اثـر رقابتی دو گونه را تعدیل کند. به‌طور کلی، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، تیمار کشت مخلوط افزایشی ۴۰ درصد لوبیا بـا کـدو و کاربرد میکوریزا به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شد و به نظر می‌رسد این تیمار می‌تواند در جهـت توسـعه کشـاورزی پایـدار و حفـظ سـلامت اکوسیستم مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

هزینه این پروژه از محل گرنت تأمین شده است و بدین وسیله از دانشگاه بوعلی سینا همدان بـه‌منظـور تـأمین اعتبـار ایـن پـژوهش سپاسگزاری می‌شود.

References

Aboutalebian, M.A., and Malmir, M., 2017. Effect of mycorrhiza and *Bradyrhizobium* on yield and yield components of soybean in different amounts of nitrogen fertilizer. Journal of Field Crop Science 4(48):901-9011. (In Persian with English Summary)

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 25: 202-207.

Alikhan, A., Jilani, G., Saleem Akhtar, M., Saqlan Naqvi, S.M., and Rasheed, M., 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: Occurrence, mechanisms and thir role in crop production. Journal of Agricultural and Biological science 1: 48-58.

Allahdadi, M., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Amini, R., 2013. Evaluation of yield and advantages of soybean (*Glycine max* L. Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 23(3): 47-58. (In Persian with English Summary)

Al-Mefleh, N.K., Samarah, N., Zaitoun, S., and Al-Ghzawi, A., 2012. Effect of irrigation levels on fruit characteristics, total fruit yield and water use efficiency of melon under drip irrigation system. Journal of Food Agriculture and Environment 10(2): 540-545.

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., and Maggi, F., 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). Cleaner Production 171: 529–537.

Andersen, M.K., Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., and Jensen, E.S., 2004. Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tricomponent annual intercrops. Plant and Soil 266: 273–287.

Awal, M.A., Pramanik, M.H.R., and Hossen, M.A., 2007. Interspecies competition, growth and yield in barley-peanut intercropping. Asian Journal of Plant Sciences 6(4): 577-584.

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S., 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal Agronomy 24: 325-332.

Baqual, M.F., and Das, P.K., 2006. Influence of biofertilizers on macronutrient uptake by the mulberry plant and its impact on silkworm bioassay. Caspian Journal of Environmental Science 4: 98-102.

Bargaz, A., Zaman-Allah, M., Farissi, M., Lazali, M., Drevon, J.-J., Maougal, R.T., and Georg, C., 2015. Physiological and molecular aspects of tolerance to environmental constraints in grain and forage legumes. International Journal of Molecular Science 16: 18976–19008.

Bastami, A., and Majidian, M., 2016. Effects of mycorrhiza, phosphatic biofertilizer on photosynthetic pigments and yield in Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Plant Productions 38: 49-60. (In Persian with English Summary)

Bedoussac, L., Journet, E.P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E.S., Prieur, L., and Justes, E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. Agronomy for Sustainable Development 35: 911–935.

Bedoussac, L., and Justes, E., 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. Field Crops Research 124: 25–36.

Brito, I., Michael Goss, J., and Carvalho M., 2008. Agronomic management of indigenous mycorrhizas. Universidade de Evora, ICAM, Apartado 94: 7002 – 554.

Cardoso, I., and Kuyper M.T.W., 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 72-84.

Connolly, J., 1987. On the use of response models in mixture experiments. Oecologia 72: 95–103.

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A., 2007. Competitionindices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research 100: 249–256.

Fruhwirth, G.O., and Hermetter, A., 2008. Production technology and characteristics of styrian pumpkin seed oil. European Journal of Lipid Science and Technology 110: 637-644.

Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M.N., Van Tuinen, D., Redecker, D., and Wipf, D., 2010. Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. Mycorrhiza 20: 519–530.

Grigulis, K., Lavorel, S., Krainer, U., Legay, N., Baxendale, C., Dumont, M., Kastl, E., Arnoldi, C., Bardgett, R.D., Poly, F., Pommier, T., Schloter, M., Tappeiner, U., Bahn, M., and Clément, J.C., 2013. Relative contributions of plant traits and soil microbial properties to mountain grassland ecosystem services. Journal of Ecology 101: 47–57.

Habibi, A., Heidari, G., Sohrabi, Y., Badakhshan, H., and Mohammadi, K., 2011. Influence of bio, organic and chemical fertilizers on medicinal pumpkin traits. Journal of Medicinal Plants Research 5(23): 5590-5597.

Hamzei, J., 2012. Evaluation of yield, spad index, landuse efficiency and system productivity index of barley (*Hordeum vulgare*) intercropped with bitter vetch (*Vicia ervilia*). Journal of Crop Production and Processing 2 (4):79-92. (In

Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Babaei, M., 2015. Effect of irrigation and nitrogen fertilizing on phenology, grain yield and oil of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) in Hamadan region. Agricultural science and Sustainable Production 2(25): 1-13. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Salimi, F., 2014. Root colonization, yield and yield components of milk thistle (*Silybum marianum*) affected by mycorhizal fungi and phosphorus fertilizer. Journal of Agricutural Science and Sustainable Production 24(4): 87-94.

Hashemzadeh, F., Mirshekari, B., Yarnia, M., Rahimzadeh Khoei, F., and Tarinejhad, A., 2014. Effect of bio and chemical fertilizers on yield, yield components and mycorrhizal colonization percent on common Dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Crop Ecophysiology 8(3): 257-270.

Heidari, M., and Karami, V., 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 13(1): 9-13.

Hosseini, S.H., Yousefzadeh, S., Yeritsayan, S., and Khodayar, H., 2016. Growth analysis and qualitative traits pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) Affected by application of chemical and organic fertilizers. Journal of Plant production Research 23(1): 131-155. (In Persian with English Summary)

Justes, E., Bedoussac, L., Corre-Hellou, G., Fustec, J., Hinsinger, P., Jeuffroy, M.-H., Journet, E.P., Louarn, G., Naudin, C., and Pelzer, E., 2014. Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. Innovations Agronomiques 1–24.

Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with Pfertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Latati, M., Blavet, D., Alkama, N., Laoufi, H., Drevon, J.J., Gérard, F., Pansu, M., and Ounane, S.M., 2014. The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. Plant and Soil 385: 181–191.

Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A., 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy 34: 287-294.

Marzban, Z., Ameriyan, M.R., and Mamarabadi, M., 2014. Responses of agronomic characteristics of maize and Cowpea tomycorrhiza and Mesorrhizobial Bacteria in intercropping. Journal of Crop Ecophysiology 8:165-180.

Mohammadi, E., Asghari, H., and Gholami, A., 2014. Evaluation the possibility of utilization of bio fertilizer mycorrhiza in phosphorus supply in Chickpea cultivation (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11(4): 658-665. (In Persian with English Summary)

Moll, R.H., Kamprath, E.J and Jackson, W.A., 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.

Naghizade, M., Ramroodi, M., Galavi, M., Siahsar, B., Heydari, M., and Maghsoodi, A.A., 2012. The Effects of various phosphorus fertilizers on yield and yield components of maize and Grass Pea intercropping. Iranian Journal of Field crop science 43(2):203-215. (In Persian with English Summary)

Nazari-Nasi, H, Amirnia, R., and Zardashti, M., 2018. Effect of drought stress and biofertilizers on some physiological characteristics and grain yield of medicinal pumpkin plants. Journal of Agricultural Crops Production 20(1).

Omidi, F., and Sepehri, A., 2015. Effect of sodium nitroprusside application on leaf area, growth and water use efficiency of kidney bean under water deficit stress. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture) 16(4): 871-885. (In Persian with English Summary)

Parsa, M., and Bagheri, A., 2008. Pulse. Jahade-e-Daneshghahi Mashhad Press, Iran. 828 pp. (In Persian)

Philips, J. M., and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of British Mycological Society 55: 158-161.

Rahmani, M., Zavareh, M., Hamidi, I., and Hoogenboom, G., 2017. Effect of planting date and density on yield and commercial qualities of hybrid seed production of maize (*Zea mays* L. Cv. SC 704). Iranian Journal of Field Crop Science 49(2): 93-103. (In Persian with English Summary)

Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Valizadegan, O., and Banaei-Asl, F., 2014. Evaluation of different intercropping patterns of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.) in double crop. Journal of Agroecology 5(4): 462-472. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R., 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Crop Sciences 2: 217-230. (In Persian with English Summary)

Rokhzadi, A., Asgharzadeh, A., Darvish, F., Nour-Mohammadi, G., and Majidi, E., 2008. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under field condition. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 3: 253- 257.

Sepehri, A., and Karami, A., 2013. Integrative applications of chemical fertilizers and biofertilizers on grain yield and oil of *Borago officinalis* L. under water deficit stress. Iranian Journal of Field Crop Science 43(4): 691-699. (In Persian with English Summary)

Singh, M., Singh, U.B., Ram, M., Yadav, A., and Chanotiya, C.S., 2013. Biomass yield, essential oil yield and quality of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as influenced by intercropping with garlic (*Allium sativum* L.) under subtropical and temperate climate of India. Industrial Crops and Products 46: 234-237.

Singh, N.V., Singh, S.K., Singh, A.K., Meshram, D.T., Suroshe, S.S., and Mishra, D.C., 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi. Scientia Horticulturae 136: 122–127.

Snaydon, R.W., 1991. Replacement or additive design for competition studies. Journal of Applied Ecology 28: 930–946.

Szumigalski, A.R., and Van Acker, R.C., 2006. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops. Agronomy Journal 98: 1030-1040.

Wahla, I.H., Ahmad, R., Ehsanullah, Ahmad, A., and Jabbar, A., 2009. Competitive functions of components crops in some barley based intercropping systems. International Journal of Agriculture and Biology 11(1): 69-72.

Willey, R.W., 1979. Intercropping its importance and research needs: Part I. Competition and yield advantage. Field Crop Abstracts 32: 1–10.

Zegada-Lizarazu, W., Izumi, Y., and Iijima, M., 2006. Water competition of intercropped pearl millet with cowpea under drought and soil compaction stresses. Plant Production Science 9: 123–132.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.2, Summer 2021, p. 271-290

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۲۹۰-۲۷۱

Evaluation of Production Potential, Resources Use Efficiency, and Economical-Ecological Benefits of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropped with Pepo (*Cucurbita pepo* L.) using Mycorrhiza

J. Hamzei[1*] and S.F. Hosseini[2]
Submitted: 16-02-2019
Accepted: 15-01-2020

Hamzei, J., and Hosseini, S.F., 2021. Evaluation of production potential, resources use efficiency, and economical-ecological benefits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropped with pepo (*Cucurbita pepo* L.) using mycorrhiza. Journal of Agroecology 13(2):271-290.

Introduction

Demand for food in the world is likely to be nearly two times the current level by 2030, while the amount of new land for cultivating area is very limited (Marzban et al., 2014). Therefore, the design and implementation of systems with stability and performance are highly felt (Hosseini et al., 2016). In agriculture, there are different perspectives for imitation of nature, one example of which is sustainable agriculture. Intercropping is defined as a sustainable agricultural operation in which two or more species grow simultaneously during a season on a piece of land (Amani Machiani et al., 2018). By the way, the use of bio-fertilizers is a method to revive the natural flora of the soil and it is considered as a path to sustainable agriculture (Baqual & Das, 2006). Unfortunately, most conventional agricultural systems based on the high consumption of chemical fertilizers, are deprived of the benefits of coexistence of useful microorganisms with the plant, such as mycorrhiza coexistence. Therefore, it seems that using the intercropping and bio-fertilizer inoculation can be an effective step towards sustainable production in the agricultural lands.

Materials and Methods

The experiment was conducted as factorial mode based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of the Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University. Using and non-using of mycorrhiza and 5 cultivation patterns including the pure crop of pumpkin, pure bean cultivation and additive intercropping of 20, 40 and 60% beans with pumpkin were the experimental treatments. The cultivation of both species was carried out on 9.3.2017. At the end of the growth period, harvest was done from each plot after removing the marginal effect, and oil percentage, oil yield, Pepo equivalent yield (PEY), water use efficiency (WUE) and nitrogen utilization efficiency (NUE), the percentage of root clonization, as well as the usefulness indices of the intercropping were measured. The data were analyzed by SAS9.1 and the means were compared using LSD test at a probability level of 5%.

Results and Discussion

The results indicated that the effect of crop pattern in both application and non-application of mycorrhiza were significant on the number of fruits per plant, seed weight, seed yield, oil yield, equivalent yield, water use efficiency and nitrogen use efficiency in pumpkin, as well as number of pods per plant, the weight of 100 seeds and grain yield of the bean. The percentage of oil in pumpkin and the percentage of root clonization in both plants were also significant in the case of mycorrhiza application. The highest amount of pumpkin equivalent yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency were obtained from additive intercropping of 40% bean with pumpkin under mycorrhiza application. The partial land equivalent ratio in the pumpkin was higher than that of bean, which can be concluded that the pumpkin cropping is influenced positively by the intercropping

1 and 2- Associate Professor and M.Sc. Student, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: j.hamzei@basu.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v13i2.79212

with the bean. The highest values of land equivalent ratio (LER), relative value total (RVT) and Cumulativerelative efficiency index (REIc) were obtained from 40% bean incropped with pumpkin treatment. According to the results of CC, CR, and AG, it can be concluded that the bean is suitable for intercropping with pumpkin. ATER values of more than 1 were obtained in all treatments, except for the additive intercropping of 60% bean with pumpkin in both application and non-application of mycorrhiza. The highest amount of LUE and SPI in the case of application and non-application of mycorrhiza were obtained from additive intercropping of 40 and 20% bean with pumpkin, respectively, indicating the ability of the mycorrhiza to modify the competition of pumpkin with beans.

Conclusion

According to the results of this study it was indicated that in the case of mycorrhiza application, the amount of all traits in the same treatments increased, and the 40% bean intercropped with pumpkin together with the application of mycorrhiza was determined as the superior treatment, which could be considered for the sustainable agriculture development and maintaining the ecosystem health.

Keywords: Biofertilizer, Equivalent yield, Nitrogen use efficiency, Planting pattern, Water use efficiency